

新型煤化工产业技术及经济性分析

陈乐, 李立, 马越

(中国矿业大学(北京)资源与安全工程学院, 北京 100083)

摘要:新型煤化工主要包括煤制油、煤制天然气、煤制烯烃、煤制乙二醇、煤制二甲醚。本文基于新型煤化工产业各项技术及工程规模选择,分析了不同原油价格下,新型煤化工产业能够承受的煤炭价格及其经济竞争性,结论是国际原油价格在50~70美元/桶时,新型煤化工产业具有一定经济竞争性,煤基化工产品(乙二醇、烯烃)的经济竞争力会大大好于煤基能源产品(油品、二甲醚);随原油价格增高,经济性不断增强。

关键词:新型煤化工; 产业技术; 经济分析

中图分类号:TQ53

文献标志码:A

文章编号:0253-4320(2015)01-0006-05

Technology and economic analysis on modern coal chemical industry

CHEN Le, LI Li, MA Yue

(School of Resources and Safety Engineering, China University of Mining & Technology, Beijing 100083, China)

Abstract: Modern coal chemical industry mainly includes coal liquefaction, coal gasification, coal to olefin, coal to glycol and dimethyl ether from coal. Based on the selection of technique and project scale of modern coal chemical industry, the economic competitiveness of modern coal chemical industry and competitive coal prices are analyzed under different crude oil prices. It can be concluded that when the international crude oil price is 50-70 dollars per barrel, modern coal chemical industry has certain competitiveness and economical efficiency of coal-based chemical products (glycol, olefins) is much better than the coal-based energy products (oil, dimethyl ether). With the increase of oil price, the economic competitiveness of advanced coal chemical industry increases.

Key words: modern coal chemical industry; industry technology; economic analysis

煤化工按其产品种类可分为传统煤化工和新型煤化工。传统煤化工通常指煤制焦炭、电石、甲醇等历史悠久,技术成熟的产业。新型煤化工是指煤制油、烯烃、二甲醚、天然气、乙二醇等以煤基替代能源为导向的产业。

我国能源结构呈现出鲜明的“富煤、贫油、少气”能源资源特点^[1],这决定了我国长期依赖煤炭的能源格局,资源禀赋决定了我国必须发展煤化工产业。随着工业化进程的加快,石油短缺严重制约着我国经济的发展,面对世界石油供应日益紧张的形势,我国能源安全问题日益突出。大力发展新型煤化工产业,特别是煤制油、煤制烯烃等煤基替代方案对实施原油替代战略有重要的意义。本文基于新型煤化工各项技术及装置规模的选择,分析了不同原油价格与煤炭价格下各项技术的经济性。

1 煤制油

1.1 装置规模及技术

1.1.1 液化方式选择

以煤为原料合成油的工艺主要分为直接液化技

术和间接液化技术。直接液化工艺可分为热裂解法、溶剂法和催化加氢法^[2]。代表性技术有德国的IGOR工艺、日本NEDOL工艺、美国HTI工艺和中国神华工艺。

煤的间接液化,首先将煤气化产生合成气,再以合成气为原料合成液体燃料或化学产品。煤的间接液化工艺国内外均已成熟,代表性的技术包括南非Sasol公司技术、荷兰Shell公司的合成中间馏份油技术(SMDS)和中科院山西煤化所高温浆态床费托合成技术。

目前,世界上煤化工加工路线主要是通过煤气化生产有效气体($\text{CO} + \text{H}_2$),然后进行化学合成生产基本有机化工产品^[2]。五大现代煤化工产品(煤制油、煤制烯烃、煤制二甲醚、煤制乙二醇、煤制天然气)基本以煤气化为龙头,经合成气制备再进一步生产煤化工产品。因此,在进行现代煤化工竞争力比较时,选择工艺路线接近的煤间接液化作为与其他煤化工项目分析比较的基础。

1.1.2 规模选择

煤制油的经济规模一般为不小于300万t/a。

根据正在推进的神华宁煤-SASOL煤制油项目规模,以及国内伊泰、潞安等企业拟建工业化煤制油项目的规模情况,确定煤制油规模为360万t/a。煤间接液化主要产品为柴油、石脑油和LPG。

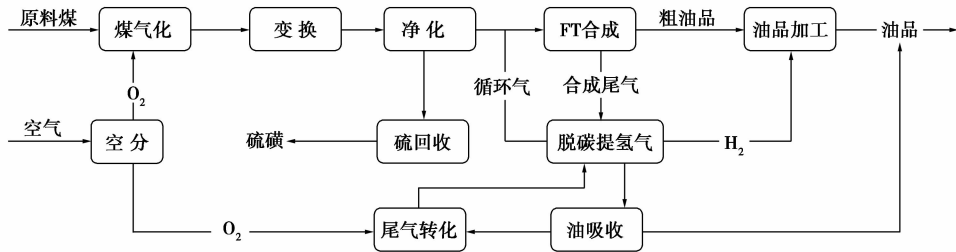


图1 煤间接液化典型工艺流程

表1 煤间接液化主要工艺技术选择

工艺装置	技术选择	备注
煤气化	水煤浆气化技术	国内技术
空分	液氧内压缩流程	国内技术
变换	Co-Mo 宽温耐硫变换	国内技术
净化	低温甲醇洗	国内技术
硫回收	Claus-SCOT	引进技术
FT合成	高温费托合成	国内技术
油品加工	加氢精制、加氢裂化	国内技术

1.2 经济性

煤间接液化的主要产品是柴油、石脑油和LPG等石油炼制产品,其经济性受国际原油价格影响较大。本文测算了不同煤价下煤制油的竞争性煤价,如表2所示。

表2 煤间接液化竞争性分析 元/t

原油价格/(美元/桶)	40	50	60	70	80
柴油预测出厂价	4091	4884	5677	6471	7264
石脑油预测出厂价	2801	3470	4138	4807	5476
LPG 预测出厂价	2815	3350	3885	4421	4956
煤炭竞争价格1	-180	0	180	355	535
煤炭竞争价格2	-129	0	129	254	382
原油价格/(美元/桶)	90	100	110	120	
柴油预测出厂价	8057	8850	9643	10437	
石脑油预测出厂价	6145	6814	7483	8151	
LPG 预测出厂价	5491	6026	6562	7097	
煤炭竞争价格1	710	890	1070	1250	
煤炭竞争价格2	507	636	764	893	

注:①煤炭竞争价格是指不同原油价格下煤制油项目保证IRR(税后)不低于10%的临界煤价,即该油价下最高可承受的煤炭价格;②竞争价格1为标煤价格,竞争价格2为5000大卡(1大卡=4.182 kJ,下同)煤价格。

1.1.3 主要工艺技术选择

煤间接液化主要工艺环节包括煤气化、空分、变换、净化、FT合成、油品加工等过程,见图1。主要工艺技术选择如表1。

分析可知,当国际原油价格低于50美元/桶(人民币:美元=6.8:1,下同)时,煤制油项目可承受的煤炭价格已远低于煤炭开采成本,即无经济性;当国际原油价格为70美元/桶时,煤制油项目可承受的标煤价格最高为355元/t,相当于5000大卡(1大卡=4.182 kJ,下同)煤可承受的最高价格为254元/t时,即高于该煤价时,煤制油项目将无经济性。

2 煤制烯烃

2.1 装置规模及技术

2.1.1 装置规模

国家发改委关于“加强煤化工项目建设管理促进产业健康发展”的通知中规定:“一般不应批准规模在300万t/a以下的煤制油项目,100万t/a以下的甲醇和二甲醚项目,60万t/a以下的煤制烯烃项目”。此外,为实现乙丙烯下游产品能达到规模经济,根据国家产业政策,确定煤制烯烃项目研究规模为60万t/a。

2.1.2 工艺技术选择

煤制烯烃是以煤为原料,经过气化、变换、脱硫脱碳、甲醇合成与精馏以及配套的空分装置等生产甲醇,通过甲醇制烯烃技术生产低碳烯烃产品^[3]。煤制烯烃项目工艺流程如图2。

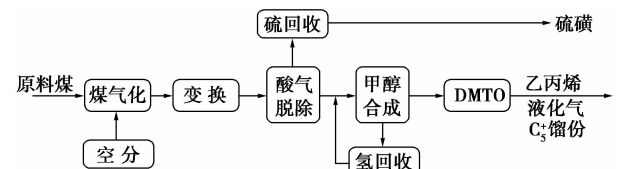


图2 煤制烯烃工艺流程示意图

煤制烯烃各工序典型工艺技术选择情况见表3。

表 3 煤制烯烃各工序典型工艺技术选择情况

生产单元	选择技术	技术来源
气化	水煤浆加压气化工艺	国内技术
变换	Co-Mo 宽温耐硫变换工艺	国内技术
酸性气体脱除	低温甲醇洗技术	Linde 公司
硫回收	Claus + SSR	国内技术
甲醇合成	SRC 径向合成	Davy 公司
甲醇精馏	三塔精馏	国内技术
空分	内压缩流程	国内合资空分设备制造厂
甲醇制烯烃	DMTO	大连化物所

2.2 经济性

60 万 t/a 煤制烯烃项目总投资约 150 亿元(不含烯烃深加工装置),单位产品投资约 25 000 元/t 烯烃。煤制烯烃产品作为石油的间接替代品,必须在成本上与石油化工产品具有竞争力,才能取得经济效益。不同原油价格体系下,煤制烯烃的成本竞争力及对应竞争煤价见表 4。

表 4 煤制烯烃生产成本 元/t

原油价格/(美元/桶)	40	50	60	70	80
烯烃出厂价格	3932	4786	5586	6387	7213
煤炭竞争价格 1	49	209	360	510	665
煤炭竞争价格 2	35	149	257	364	475
原油价格/(美元/桶)	90	100	110	120	
烯烃出厂价格	8013	8839	9640	10547	
煤炭竞争价格 1	815	970	1121	1291	
煤炭竞争价格 2	582	693	801	922	

注:竞争价格 1 为标煤竞争价格;竞争价格 2 为 5 000 大卡煤炭竞争价格。

由表 4 中可以看出:根据目前煤炭资源地坑口价格情况,当国际原油价格高于 60 美元/桶时,煤制烯烃项目即具备一定的成本竞争力,并且随着国际原油价格的走高,成本竞争力不断增强。而在低油价体系下,即使煤炭不计成本,煤制烯烃产品仍然没有竞争力。导致这种现象的原因是煤制烯烃项目投资强度较高,固定成本在总成本中比重较高,可变成本所占比重较低。

3 煤制二甲醚

3.1 装置规模及技术

3.1.1 装置规模

二甲醚产品作为替代能源主要定位于民用燃气市场,产品推广应用的关键之一在于成本竞争力,因此,煤制二甲醚项目必须达到较大的规模,才能使得二甲醚的成本有竞争性。根据国家产业政策,确定煤制二甲醚项目研究规模为 100 万 t/a。

3.1.2 工艺技术选择

煤制二甲醚是以煤为原料,经过气化、变换、脱硫脱碳、甲醇合成与精馏以及配套的空分装置等生产甲醇,甲醇在催化剂的作用下,发生脱水反应生成二甲醚。煤制二甲醚工艺流程示意图见图 3。煤制二甲醚各工序典型工艺技术选择情况见表 5。

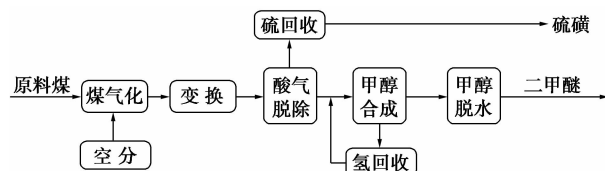


图 3 煤制二甲醚工艺流程示意图

表 5 煤制二甲醚项目工艺技术

项目	选择技术	技术来源
煤气化	水煤浆加压气化工艺	国内技术
变换	Co-Mo 宽温耐硫变换工艺	国内技术
酸气脱除	低温甲醇洗技术	Linde 公司
硫回收	Claus + SSR	国内技术
甲醇合成	SRC 径向合成	Davy 公司
二甲醚	甲醇气相脱水工艺	国内技术
空分	内压缩流程	国内合资空分设备制造厂

3.2 经济性

100 万 t/a 煤制二甲醚项目总投资约 80 亿元,单位产品投资约 8 000 元/t 二甲醚。二甲醚作为替代能源类产品,原油价格对产品的成本竞争力和经济性有较大的影响。不同原油价格体系下,煤制二甲醚的成本竞争力及对应竞争煤价如表 6 所示。

表 6 煤制二甲醚替代 LPG 竞争力 元/t

原油价格/(美元/桶)	40	50	60	70	80
LPG 生产成本	2815	3350	3885	4421	4956
DME 竞争价格 1	2011	2393	2775	3158	3540
煤炭竞争价格 2	—	78	235	392	550
煤炭竞争价格 3	—	56	168	280	393
原油价格/(美元/桶)	90	100	110	120	
LPG 生产成本	5491	6026	6562	7097	
DME 竞争价格 1	3922	4305	4687	5069	
煤炭竞争价格 2	706	865	1020	1177	
煤炭竞争价格 3	504	618	729	841	

注:价格 1 为二甲醚/LPG 替代比以 1.4 计;价格 2 为标煤竞争价格;价格 3 为 5 000 大卡煤价格。

分析可知:二甲醚产品作为石油替代类产品,国际原油价格波动对二甲醚项目的成本竞争力和经济性影响较大;当国际原油价格低于 60 美元/桶,即使在坑口建设煤制二甲醚项目也不具备竞争力和经济

性。此外,应关注目前二甲醚替代 LPG 领域在市场开拓阶段所面临的用户接受度和二甲醚混配气标准、瓶阀、钢瓶标准以及储运标准缺失对二甲醚替代 LPG 竞争力的影响。

4 煤制乙二醇

4.1 装置规模及技术

4.1.1 规模选择

根据国内第一套煤制乙二醇工业示范装置规模,以及开工建设的采用同类技术的煤制乙二醇规模,典型规模为 20 万 t/a。

4.1.2 主要工艺技术选择

煤间接液化主要工艺环节包括煤气化、空分、变换、净化、气体分离、乙二醇合成等过程^[4],如图 4 所示。主要工艺技术选择见表 7。

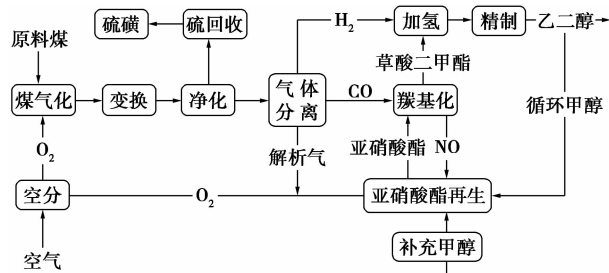


图 4 煤制乙二醇典型工艺流程示意

表 7 煤制乙二醇主要工艺技术选择

工艺装置	技术选择	备注
煤气化	水煤浆气化技术	国内技术
空分	液氧内压缩流程	国内技术
变换	Co-Mo 宽温耐硫变换	国内技术
净化	低温甲醇洗	国内技术
硫回收	Claus-SCOT 技术	引进技术
气体分离	变压吸附分离	国内技术
乙二醇合成	CO 气相催化合成草酸酯和草酸 酯催化加氢合成乙二醇	国内技术

4.2 经济性

煤制乙二醇开辟了非石油路线生产乙二醇的新工艺,其产品可完全替代石油路线乙二醇,其经济性主要受原油价格和原料煤价格影响。分析不同原油价格下,煤制乙二醇可承受煤价的变化见表 8。

分析可知,当国际原油价格低于 50 美元/桶时,煤制乙二醇可承受的煤价为 100 元/t,该价格已经接近或低于目前我国的煤炭开采成本,经济性较差。当国际原油价格为 70 美元/桶时,煤炭(标煤)价格低于 540 元/t 时,相当于热值为 5 000 大卡原煤时价格低于 386 元/t 时,煤制乙二醇有经济性。目前

表 8 煤制乙二醇竞争性分析

元/t	40	50	60	70	80
原油价格/(美元/桶)	40	50	60	70	80
乙二醇预测出厂价	3485	4072	4670	5224	5942
煤炭竞争价格 1	-120	100	330	540	810
煤炭竞争价格 2	-86	71	236	386	579
原油价格/(美元/桶)	90	100	110	120	
乙二醇预测出厂价	6499	7217	7773	8504	
煤炭竞争价格 1	1030	1300	1510	1790	
煤炭竞争价格 2	736	929	1079	1279	

注:①煤炭竞争价格不同原油价格下煤制乙二醇项目保证 IRR(税后)不低于 10% 的临界煤价,即该油价下最高可承受的煤炭价格;②竞争价格 1 为标煤价格,竞争价格 2 为 5 000 大卡煤价格。

我国煤制乙二醇仍处于工业示范阶段,吨产品投资约 1.3 万~1.5 万元,其中乙二醇装置投资占总投资的 20%~30%。投资大是造成煤制乙二醇在低油价下不具竞争优势的重要原因。未来,随着煤制乙二醇的工业示范,工艺和技术将得到进一步优化,可进一步节省投资,竞争性将得到增强。

5 煤制天然气

5.1 装置规模及技术

5.1.1 装置规模

煤制天然气具有和常规天然气相同的性质,可作为替代产品用于各个领域。煤制天然气项目投资大,需要具备较大的经济规模,目前单系列规模为 13 亿~16 亿 m³/a,国内在建项目较多采用 3 个系列,总规模 40 亿 m³/a。煤制天然气项目的技术、经济指标以 40 亿 m³/a 规模为基础。

5.1.2 工艺技术选择

煤制天然气生产以煤为原料,经过气化、变换、净化、甲烷化得到合成天然气。工艺流程如图 5 所示^[5]。各工段典型工艺见表 9。

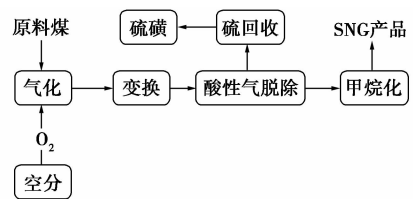


图 5 煤制天然气工艺流程示意

表 9 煤制天然气各工段工艺

工段名称	选择技术	技术来源
煤气化	碎煤加压气化	国内技术
变换	Co-Mo 耐硫耐硫变换	国内技术
净化	低温甲醇洗	国内技术
甲烷化	甲烷化	Davy 公司

5.2 经济性

40 亿 m³/a 煤制天然气项目总投资约 220 亿元。不同煤价下,煤制天然气出厂价如表 10 所示。随着我国天然气消费的快速增长,进口天然气比重将迅速扩大,中亚、俄罗斯、缅甸以及海上进口的天然气价格将与国内天然气市场价格逐步挂钩,同时也将对煤制天然气的经济性产生一定影响。以阜新煤制天然气为例,对应竞争进口 LNG 价格关系如表 10 和图 6 所示。

表 10 煤制天然气与进口 LNG 竞争力

标煤价格/ (元·t ⁻¹)	煤制天然气出厂 价/(元·m ⁻³)	LNG 进口价/ (元·m ⁻³)	LNG 对应油价/ (美元/桶)
200	1.19	1.08	49
250	1.32	1.19	54
300	1.44	1.28	58
350	1.57	1.39	63
400	1.70	1.49	68
450	1.82	1.59	72
500	1.95	1.69	77
550	2.08	1.80	81
600	2.20	1.89	86
650	2.33	2.00	90
700	2.46	2.10	95
750	2.58	2.20	99
800	2.71	2.30	104

注:1 m³ 天然气 = 0.9 kg 原油,1 t 原油 = 7.33 桶。

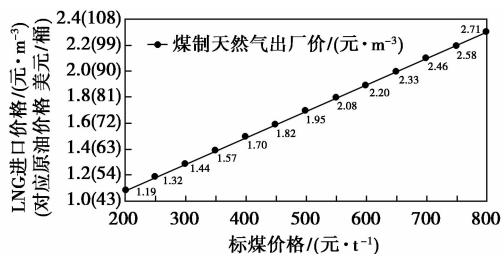


图 6 煤制天然气与进口 LNG 竞争力示意图

进口 LNG 与原油价格对应关系较为复杂。天然气价格较高时,为同热值油价的 80%,天然气价格较低时,为同热值油价的 30%。本研究取平均值 50%。

目前,我国天然气价格是由出厂价加上管输价格形成城市门站价,再加上输配费后,形成终端用户价格。由于天然气出厂价执行政府指导价,使得长期以来气价偏低。为促进资源节约,引导天然气资源合理配置,改善市场供应,国家将逐步提高天然气出厂基准价格和管输价格。国家发改委陆续下发通知,从 2010 年 4 月 25 日起,提高执行国家统一运价的天然气管道运输价格,每立方米提高 0.08 元。2010 年 6 月 1 日起,国内陆上天然气出厂基准价格每千立方米提高 230 元。未来可能将进一步完善天

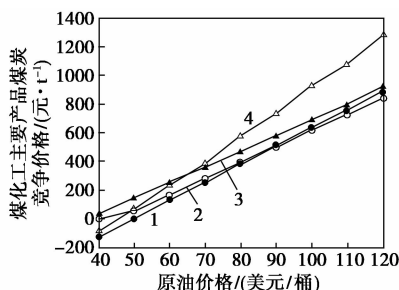
然气价格政策,而进口天然气价格也将推动国内天然气价格水平的提高,天然气价格形成机制的完善将有利于提高煤制天然气项目的经济性。

6 结论

将煤制油、煤制烯烃、煤制二甲醚、煤制乙二醇等项目的经济性测算结果汇总如表 11 及图 7 所示。

表 11 相同成本下油价与煤价(5 000 大卡)的对应关系

原油价格	40	50	60	70	80	90	100	110	120
煤制油	-129	0	129	254	382	507	636	764	893
煤制二甲醚	—	56	168	280	393	504	618	729	841
煤制烯烃	35	149	257	364	475	582	693	801	922
煤制乙二醇	-86	71	236	386	579	736	929	1079	1279



1—煤制油;2—煤制二甲醚;3—煤制烯烃;4—煤制乙二醇

图 7 相同成本下油价与煤价(5 000 大卡)对应关系

从表 11 和图 7 可以看出,当油价低于 50 美元/桶时,现代煤化工产业的经济竞争力都不理想;当油价高于 60 美元/桶、低于 70 美元/桶时,现代煤化工产业初步具有了经济竞争力,顺序是:煤制烯烃≈煤制乙二醇>煤制二甲醚>煤制油;当油价高于 70 美元/桶时,现代煤化工产业的经济竞争力进一步提升,煤制乙二醇效益最好,其次是煤制烯烃,而煤制油和煤制二甲醚基本相当。总体上,随着油价的提高,煤基化工产品(乙二醇、烯烃)的经济竞争力会大大好于煤基能源产品(油品、二甲醚),即煤基化工产品的盈利能力比煤制能源产品的盈利能力更强。

参考文献

[1] 邓志茹. 我国能源供求预测研究[D]. 黑龙江: 哈尔滨工程大学, 2011.
 [2] 俞石波. 煤制油的工艺经济分析[J]. 现代化工, 1999, 19(6): 32-33.
 [3] 项东, 彭丽娟, 杨思宇. 石油与煤路线制烯烃过程技术评述[J]. 化工进展, 2013, 32(5): 960-961.
 [4] 周张锋, 李兆基, 潘鹏斌. 煤制乙二醇技术进展[J]. 化工进展, 2010, 29(11): 2005-2006.
 [5] 刘芹, 邢涛. 浅析煤制天然气的工艺流程与经济性[J]. 化工设计, 2010, 20(3): 25. ■